

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НИТРАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКИМ ПЛАНИРОВАНИЕМ

Бегеза А. С.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, wwwnavigatorwww@mail.ru
Научные руководители – Андреюк С. В., старший преподаватель,
Житенев Б. Н., к.т.н., доцент

The article examines conditions for selecting the method of a multifactor experiment on the example of ion-exchange water purification from nitrates. General information about the full factorial experiment is shown. A multifactorial process of ion-exchange purification is presented.

Многофакторный эксперимент широко используется в современной научной деятельности и является эффективным средством обработки и планирования экспериментальных исследований [1]. Планированием многофакторного эксперимента называется процедура выбора числа опытов и условий их проведения, необходимых для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

Протекание процесса количественно характеризуется одной или несколькими величинами, например, эффект очистки воды, остаточное содержание примеси (например, нитратов) и т. п. Такие величины называют функциями отклика. Математические методы оптимального планирования экспериментов позволяют получить математическую модель процесса даже при отсутствии данных о его механизме.

Математические модели, полученные с помощью методов планирования экспериментов, принято называть экспериментально-статистическими [2,4]. При применении статистических методов планирования эксперимента математическое описание представляется в виде полинома: $Y=f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, где Y – функция отклика (величина, качественно характеризующая протекание процесса), а x_1, x_2, x_3 – влияющие факторы (аргументы) исследуемого процесса. При этом ценность математического описания заключается в том, что оно дает информацию:

- о закономерностях влияния отдельных факторов на функцию отклика;
- позволяет количественно определить значение функции отклика при заданных значениях факторов;
- может служить основой для оптимизации процесса.

Исследования механизма очистки воды от нитратов методом ионного обмена проводились на кафедре водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Учреждения образования «Брестский государственный технический университет» и были выполнены на экспериментальной установке, представляющей собой модель ионообменного фильтра – фильтрационную колонку, загруженную ионообменной смолой. В качестве загрязненной воды использовали водопроводную воду с добавкой нитратов в количестве

90÷100 мг/дм³, что соответствует концентрации, в два раза превышающей предельно допустимую (45 мг/дм³ по нитратному азоту). Целью экспериментальных исследований являлось изучение влияния на эффективность процесса очистки воды от нитратов основных факторов при работе ионообменной колонки:

скорости фильтрации воды V , м/ч;

высоты загрузки фильтрационной колонки h с учетом ее диаметра d ;

температуры обрабатываемой воды t , °C.

Поскольку процесс ионообменной очистки является многофакторным, с целью сокращения затрат времени и материальных средств на выполнение исследований был применен математический метод оптимального планирования эксперимента, позволивший получить математическую модель процессов ионообменной очистки воды от нитратов [3]. Процесс нахождения математической модели включал в себя: планирование эксперимента, проведение эксперимента на объекте исследований; проверку воспроизводимости эксперимента; получение математической модели объекта с проверкой статистической значимости выборочных коэффициентов регрессии; проверку адекватности математического описания.

Для нахождения области оптимума был произведен экспериментальный поиск и затем в оптимальной области осуществлен ротатабельный план второго порядка, при котором факторы варьировались на пяти уровнях.

Проверка воспроизводимости опытов осуществлялась с помощью критерия Кохрена. Значимость коэффициентов регрессии определялась с учетом значения критерия Стьюдента. Адекватность зависимостей подтверждена по критерию Фишера при 5%-м уровне значимости.

Результаты эксперимента были обработаны на ЭВМ, на основании чего составлено уравнение регрессии $\bar{Y}=f(V, h/d, t)$ в виде многочлена второй степени от трех переменных (в физических переменных):

$$y = 63,63 - 1,24v - 7,86(h/d) - 3,14t + 0,05v^2 + 0,56(h/d)^2 + 0,07t^2.$$

С помощью данного уравнения можно прогнозировать эффективность работы установки в определенном режиме ведения процесса очистки воды [5]. Полученная экспериментально-статистическая модель позволяет представить поверхность отклика на факторной плоскости линиями зависимости остаточной концентрации нитратов Y от высоты загрузки фильтрационной колонки h при определенном диаметре d , от скорости фильтрации V , от температуры обрабатываемой воды t .

Анализ уравнения по определению Y в зависимости от h , V и t , выполненный с использованием свойства функции, имеющей экстремум (в точке экстремума первая производная функции равна нулю), позволил установить, что минимальная остаточная концентрация нитратов в процессе ионообменной очистки воды достигается при определенных значениях исследованных факторов (рис. 1, 2).

Таким образом, ценность полученного математического описания на основе планирования многофакторного эксперимента заключается в том, что оно, во-первых, дает информацию о влиянии факторов; во-вторых, позволяет количественно определить значения функции отклика при любом заданном режиме ведения процесса очистки воды от нитратов.

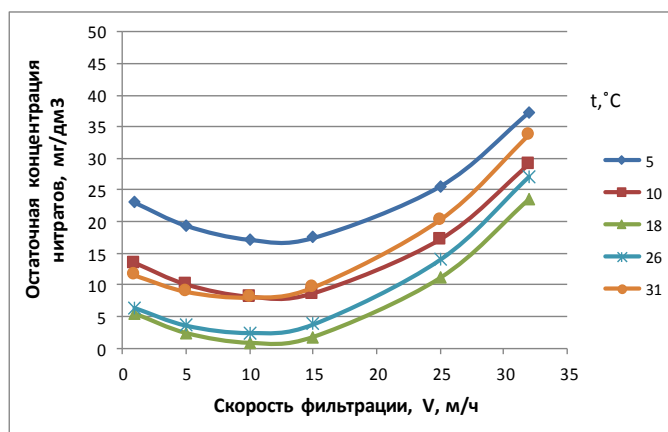


Рисунок 1 – Влияние скорости фильтрации V , м/ч, на процесс удаления нитратов при различной температуре воды t , °C, и параметре $H/d=5,6$

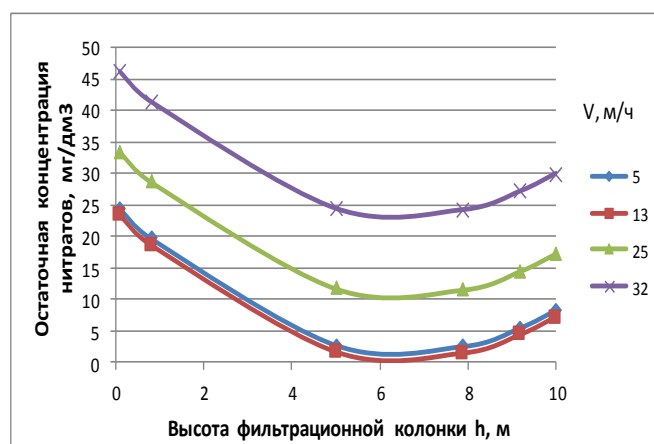


Рисунок 2 – Влияние параметра h , м, на процесс удаления нитратов при различной скорости фильтрации V , м/ч и температуре воды $t=19^{\circ}\text{C}$

Список цитированных источников

1. Дегтярев, Д. А. Пошаговая методика проведения многофакторного эксперимента. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://manyfactors.ru>. – Дата доступа: 07.01.2019.
2. Мухачёв, В. А. Планирование и обработка результатов эксперимента: учеб.-метод. пособие / В. А. Мухачев. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 118 с.
3. Андреюк, С. В. Исследование методов физико-химической очистки природных вод от нитратов / С. В. Андреюк // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Брест, 6–8 апреля 2016 г. : в 2-х ч. / УО «Брестский гос. технический ун-т.»; под ред. А.А. Волчек [и др.]. – Брест, 2016. – Ч.II. – С. 159–163.
4. Саутин, С. П. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. – Л.: Химия, 1975. – 47 с.
5. Житенев, Б. Н. Исследование метода ионообменной очистки природных вод от нитратов / Б. Н. Житенев, С. В. Андреюк, М. А. Таратенкова // Современные тенденции развития науки: материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых; Ровно, 12 мая 2016 г. / Национальный ун-т водного хоз-ва и природопользования. – Ровно, 2016. – С. 132–134.